

Riku Ilomäki

KytKentävirran mittalaitteen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

8.9.2017

Tekijä(t) Otsikko	Riku Ilomäki KytKentävirran mittalaitteen suunnittelu
Sivumäärä Aika	34 sivua + 3 liitettä 8.9.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Esko Tattari Tuotekehityspäällikkö Matti Alava
<p>Tämä raportti käsittelee Teknoware Oy:lle opinnäytetyönä tehtyä kytKentävirran mittalaitteen suunnittelutyötä. Mittalaite on suunniteltu käytettäväksi Teknoware Oy:n ajoneuvo-elektroniikan tuotekehityksen suunnitteluntodennustesteissä. Raportti sisältää lyhyen katsauksen kytKentävirtaan ilmiönä, piirikaavion ja piirilevyn suunnittelutyön ja prototyypin testauksen selostukset.</p> <p>Mittalaitteeseen kytkettävällä ulkoisella kondensaattorilla varmistetaan riittävä sähköinen energia kytKentävirtapiikin syntymiseen. Kondensaattori ladataan ulkoisella teholahteella. Mittalaitteen MOSFET-kytkin tehdään johtavaksi mikrokontrollerilla ohjatuilla vakiovirtalähteillä ja testattavan laitteen muodosta virtapiikki mitataan mittaustuloksien läpi kulkeneen paluuvirran muodostamasta jännitteestä. Mittaustuloksien selventämiseksi muodostunutta jännitettä vahvistetaan operaatiovahvistimella.</p> <p>Mittalaitteen suunnitteluun kuului piirikaavion ja piirilevyn suunnittelu ja mittalaitteen testaus. Testeissä varmistettiin laitteen virheetön toiminta ja tarkistettiin mittaustulosten tarkkuus. Työn lopussa tarkastellaan suunnittelussa ilmenneitä ongelmia ja niiden ratkaisuja.</p> <p>Suunnittelutyön tuloksena koottiin toimiva kytKentävirran mittalaitteen prototyyppi, mikä on nyt Teknoware Oy:n tuotekehityksen käytössä. Teknoware Oy tulee jatkamaan mittalaitteen kehitystyötä.</p>	
Avainsanat	KytKentävirta, Mittalaite

Author(s) Title	Riku Ilomäki Designing Inrush Current Test Equipment
Number of Pages Date	34 pages + 3 appendices 8 September 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electronics
Instructor(s)	Esko Tattari, Senior Lecturer Matti Alava, Research and development manager
<p>This thesis covers the design process for an inrush current measuring equipment that was made for Teknoware Oy's vehicle lighting research and development department. The measuring equipment will be used to authenticate design of new products. The report includes a short overview to inrush as a phenomenon, design of schematic and circuit board and a review of test done to the prototype.</p> <p>An external capacitor is used to provide sufficient electrical energy in the formation of inrush current and an external power source is used to charge the capacitor. A MOSFET switch is made conductive by using microcontroller driven constant current sources and the inrush current is measured from the voltage formed in shunt resistors by the current returning from the device under test. To clarify the results the formed voltage is amplified using an operational amplifier.</p> <p>Design process includes designing the schematic and circuit board and testing. Tests were conducted to make sure the device was working correctly and to verify the accuracy of measurements. Problems that occurred during the design process and solutions to those problems are examined at the end of this thesis.</p> <p>A working prototype inrush current tester was constructed as a result of this thesis and is now in use in Teknoware Oy's research and development department. Teknoware Oy will continue developing the inrush current tester.</p>	
Keywords	Inrush, test equipment

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn määrittely	2
2.1	Inrush	2
2.2	Standardit	3
2.3	Vaatimukset toiminnalle ja toteutus	4
3	Piirikaavion suunnittelu	6
3.1	PADS Logic	6
3.2	Tärkeimmät kytkennät ja komponentit	7
3.2.1	MOSFET	8
3.2.2	Operaatiovahvistin THS4631D	11
3.2.3	Kondensaattori 30000uF Epcos B43564E2339M	13
3.2.4	Mikrokontrolleri ja teholähteet	14
4	Piirilevyn suunnittelu	16
4.1	PADS Layout	17
4.2	Komponenttien sijoittelu	18
4.3	Maatasot	20
5	Testaus	21
5.1	Testilaitteet	21
5.2	Toiminnan varmentaminen	22
5.3	Toiminnan todentaminen	23
5.4	Käytön testaaminen	26
6	Yhteenveto	29
	Lähteet	30

Liitteet

Liite 1. Piirikaavio

Liite 2. Ohjelmistoraportti

Liite 3. TLL2445N Inrush test report

1 Johdanto

Opinnäytetyön päämääränä oli suunnitella ajoneuvovalaisinelektroniikan tuotekehityksen todentamistesteihin käytettävä kytkentävirran mittalaite. Mittalaitteella helpotetaan testin toteuttamista sekä parannetaan mittaustulosten luotettavuutta. Työ on tehty Lahdessa toimivalle Teknoware Oy:lle.

Todentamistesteillä suunnittelija todistaa suunnittelemansa tuotteen vastaavan standardeja, määräyksiä ja asiakkaiden toiveita. Käyttötarkoituksesta riippuen on suunnitellusta tuotteesta mitattava laitteen toimintaan ja ympäristöön vaikuttavia ominaisuuksia. Mittaamalla kytkentävirtaa saadaan selville laitteen tai järjestelmän, johon laite kuuluu, tarvitsemat sulakkeet. Laitteen jatkuvaan virtaan moninkertainen kytkentävirtapiikki voi rikkoa vain jatkuvalle virralle mitoitettut sulakkeet.

Teknoware Oy on Teknopower-konserniin kuuluva ajoneuvovalaistuksen ja turvavalaisuksen valmistaja. Vuonna 1972 perustettu yritys työllistää Lahdessa 260 henkilöä. Lisäksi Teknowarella on myyntiä tukevia yrityksiä Arabiemiraateissa, Ruotsissa, USA:ssa, Puolassa ja Malesiassa sekä yli kolmekymmentä yhteistyöyritystä ympäri maailmaa. Teknoware suunnittelee ja valmistaa linja-auto- ja junavalmistajille asiakaskohtaisia valaisinratkaisuja.

2 Työn määrittely

2.1 Inrush

Inrush-virraksi eli kytkentävirraksi kutsutaan sähköiseen laitteeseen ensimmäisellä käynnistyshetkellä muodostuvaa, laitteen jatkuvaa virtaa suurempaa, hetkellistä virtaa. Kytkevähetkellä laitteeseen muodostuva virta saavuttaa huippuarvonsa, minkä jälkeen se hiljalleen laskee ja saavuttaa vakaan tasonsa. Kytkevävirran suuruus on usein moninkertainen laitteen jatkuvaan virtaan verrattuna. Tämä virta voi rikkoa sulakkeita tai laukaista laitteen vikavirtasuojan. [1.]

Lähes kaikissa sähkölaitteissa esiintyy kytkentävirtaa, riippumatta siitä onko laitteen käyttöjännite tasa- tai vaihtojännitettä. Laitteet, jotka sisältävät suuria kapasitansseja tai induktansseja ja joiden sisäinen resistanssi muuttuu lämpötilan mukana, ovat alttiita suurille kytkentävirroille. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi hakkuriteholähteet, muuntajat ja hehkulamput. Hakkuriteholähteiden suodatuskondensaattorit ovat usein kapasitiivisilta arvoiltaan suuria ja voivat latautuessaan synnyttää suuren virran. Kytkettäessä muuntajia muuntajan sydämen saturoituminen saa käämien induktanssin vaikuttamaan matalalta, jolloin käämien läpi kulkevaa virtaa rajoittaa vain ensiön ja johtimien impedanssi. Hehkulampuissa kytkentävirtaa rajoittavat vain ulkoisten kytkentöjen resistanssi, kun hehkulanka on kylmä. Kylmän hehkulangan sähkönjohtavuus on huomattavasti parempi kuin jo lämmenneen lampun. [1.]

2.2 Standardit

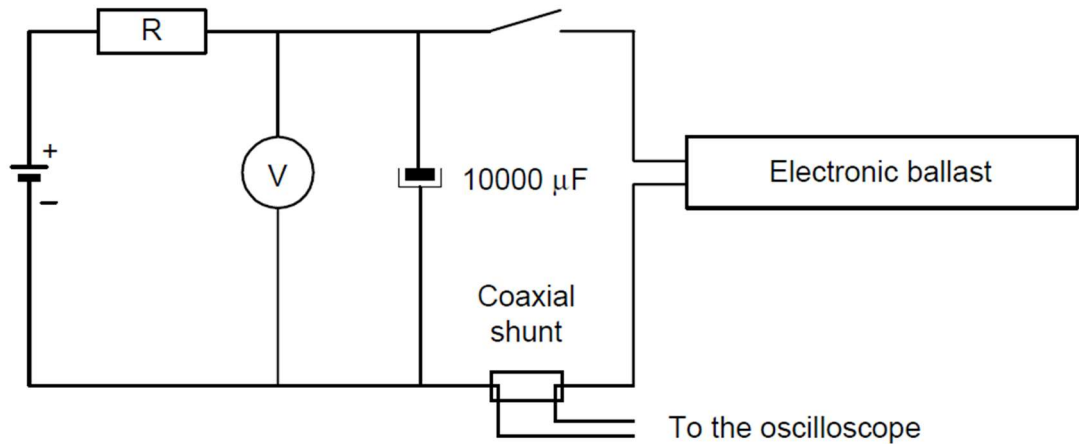
Teknologianalan yritysten toimintaa määrittelevät kansalliset ja kansainväliset standardit. Standardien tarkoituksena on yhtenäistää yritysten toimintamalleja yhteistyön helpottamiseksi, helpottaa valvontaelimien toimintaa ja varmistaa kuluttajille päätyvien tuotteiden laatu ja turvallisuus.

Standardi (normi) on jonkin organisaation esittämä määritelmä siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Merkittäviä ”virallisia” *standardisoimisjärjestöjä* ovat kansainväliset ISO ja IEC, saksalainen DIN, eurooppalaiset CEN, Cenelec ja ETSI sekä suomalainen SFS. ITU on tietoliikennehallintojen yhteinen standardisointielin. Standardeja laativat myös *ammattilliset organisaatiot* kuten IEEE (Ethernet-lähiverkot ym.) ja vielä vähemmän organisoitunut IETF (Internet). [2.]

Teknoware Oy on sitoutunut noudattamaan kansainvälistä ISO 9000 -standardisarjaa, jossa ohjeistetaan yrityksen laadunvalvontaa. Tämän lisäksi tuotekehityksessä ja tuotannossa on noudatettava ala-, maa- ja asiakaskohtaisia standardeja. Euroopan valtiot ja niissä toimivat yritykset noudattavat pääasiallisesti samoja standardeja, mutta Euroopan ulkopuolelle vietävissä tuotteissa on huomioitava kohdemaan omat vaatimukset. Lisäksi tapauksissa, joissa asiakkaalla on yleisen laatujärjestelmän lisäksi käytössään oma laatujärjestelmä, on pyrittävä noudattamaan asiakkaan standardeja.

Tähän työhön vaikuttavia standardeja ovat EN50155 ja EN50311. Nämä standardit eivät suoraan vaikuta testilaitteen suunnittelutyöhön, vaan määrittelevät rataliikenteen ajoneuvoihin asennettavien elektronisten laitteiden testiympäristöt ja rajat laitteiden kytkentävirralle.

2.3 Vaatimukset toiminnalle ja toteutus



Kuva 1. EN50311-standardin esimerkkikytkentä kytkentävirran mittaukseen

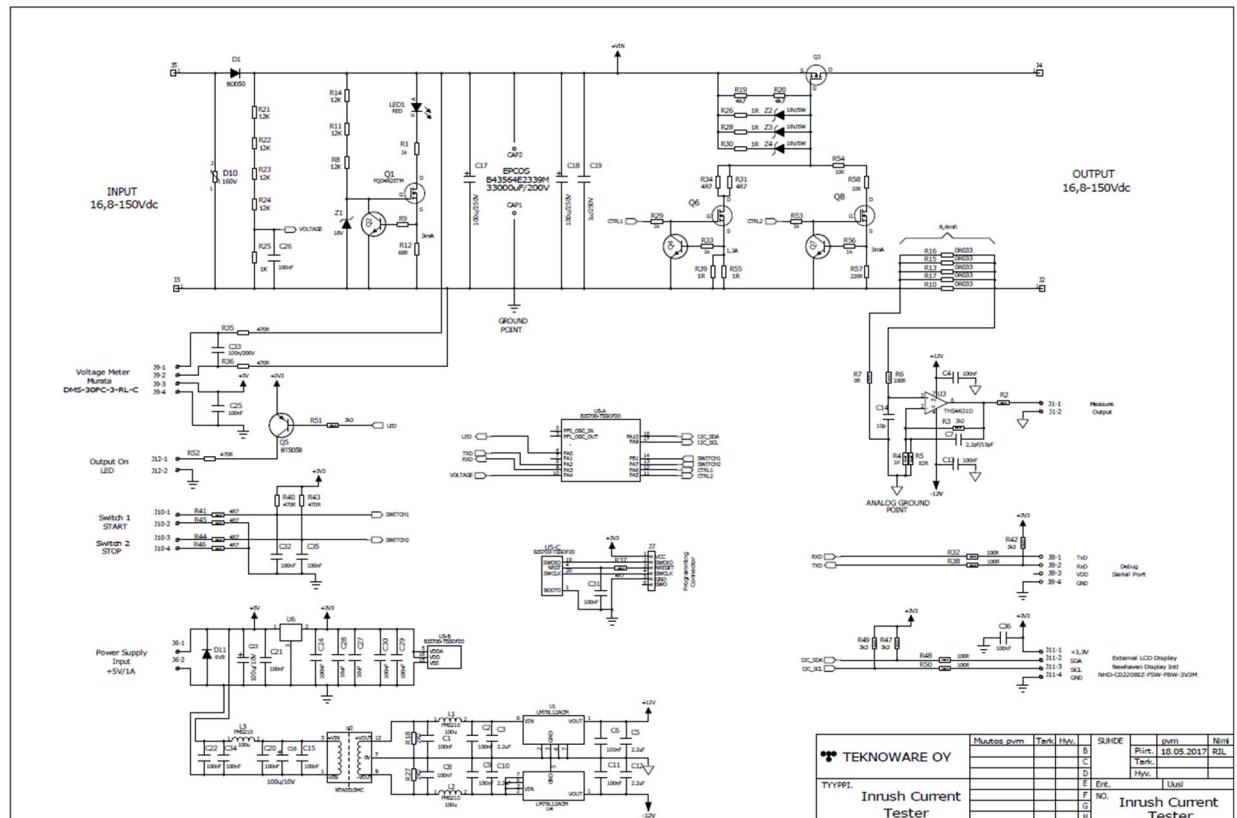
Testilaitteen käyttö, toiminta ja toiminnalliset arvot määriteltiin Teknoware Oy:n ajoneuvoelektronikan tuotekehitysosastolta saadussa spesifikaatiodokumentissa. Spesifikaatiot on esitetty taulukossa 1. Mittalaitteella on tarkoitus mitata tuotekehitysosastolla suunniteltavien uusien tuotteiden käynnistysvirtapiikki. Laitteen on myös pystyttävä testattavien laitteiden jatkuvaan tehonsyöttöön. Yksinkertaisessa käyttöliittymässä testi on kyettävä aloittamaan ja lopettamaan painonapeista ja varmistettava, ettei testiä saa käynnistettyä tahattomasti. Kuvassa 1 näkyy standardin EN50311 esittämä esimerkkikytkentä kytkentävirran mittalaitteelle.

Jännitteen mittaaminen, kytkimen avaaminen ja sulkeminen ja ulkoinen LCD-näyttö hoidetaan mikrokontrolleriohjauksella. Testi käynnistetään ja lopetetaan kontrolleriin kytketyillä ulkoisilla painikkeilla. Ohjauksen ohjelmoinnin tekee Teknoware Oy:n ajoneuvoelektronikan tuotekehitysosaston ohjelmistosuunnittelija.

Taulukko 1.

Sähköiset arvot	<p>Syöttöjännite: 16,8 -150 Vdc</p> <p>Jatkuva virta: 5 A</p> <p>Piikkivirta: 50 A</p> <p>Vahvistus mittaussignaalille: 10-30x</p> <p>Mittaussignaalin nopeus: 20 MHz ja 50 V/μs (minimi arvot)</p>
Muut toiminnot	<p>Käynnistyspainike</p> <p>Lopetuspainike</p> <p>Jännitemittaus</p> <p>Optio ulkoiselle LCD-näytölle</p> <p>Ulkoisen elektrolyyttikondensaattorin purkupiiri</p> <p>Kotelointi IP44</p>
Liitännät	<p>Tuloliitäntä</p> <p>Lähtöliitäntä</p> <p>Liitäntä ulkoiselle elektrolyyttikondensaattorille</p> <p>Oskilloskooppiliitäntä mittaussignaalille</p> <p>Käynnistyskytkin</p> <p>Lopetuskytkin</p> <p>Jännitemittarin liitäntä</p> <p>Ulkoisen tehonsyöttö</p> <p>Sarjaporttiliitäntä</p> <p>Ulkoisen LCD näyttö</p>

3 Piirikaavion suunnittelu



Kuva 2. Mittalaitteen prototyypin piirikaavio

3.1 PADS Logic

Piirikaavion suunnitteluun käytettiin Teknoware Oy:n tuotekehitysosastoilla käytettävää PADS Logic-ohjelmaa. PADS Logic on osa Mentor Graphicsin maksullista PADS kokonaisuutta. Tilan säästämiseksi piirilevyllä ja suunnittelun helpottamiseksi käytettiin integroitua piirejä aina kun oli mahdollista. Muuten suunnittelussa käytetyt komponentit valittiin Teknoware Oy:n varastosta löytyvistä komponenteista. Sopivien komponenttien löytämiseen hyödynnettiin Lean-tuotannonohjausjärjestelmää. Hyvin tehdyllä piirikaaviolla luodaan vankka pohja toimivalle piirilevyille. Piirilevyn suunnittelijan työ helpottuu, kun komponenttien sijoittelun voi aloittaa vain seuraamalla piirikaaviota. Valmis piirikaavio on nähtävissä kuvassa 2.

3.2 Tärkeimmät kytkennät ja komponentit

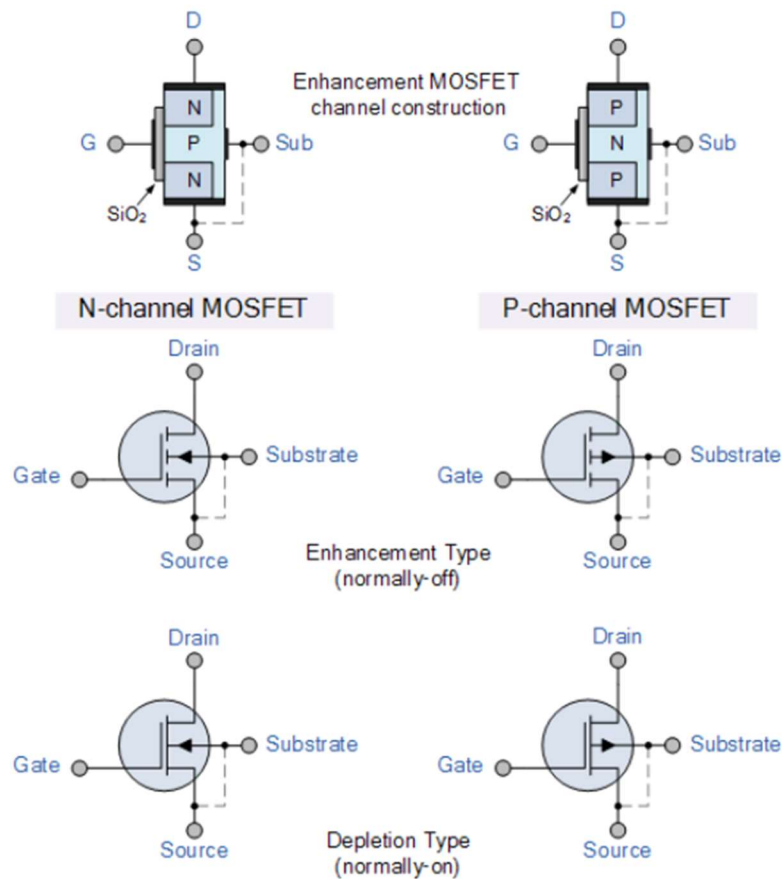
Koska mittalaitteen toimivuuden määrittelevät mittaustulosten tarkkuus ja testattavan laitteen mahdollisimman viiveetön päälle kytkeytyminen. Komponenttivalinnat piirikaa-vion suunnittelussa on rakentuneet tiettyjen komponenttien ympärille.

KytKentävirrän testaaminen edellyttää testattavan laitteen nopeaa kytkemistä riittävään energialähteeseen. Energialähteen on pystyttävä tuottamaan tarvittava virta, laitteen käyttövirtaan nähden moninkertaiseen äkilliseen virtapiikkiin. Tähän tarkoitukseen par-haiten soveltuva komponentti on mahdollisimman suuren kapasitanssin kondensaattori.

Viiveettömällä kytkennällä saadaan luotua mahdollisimman todenmukainen kytKentävir-tapiikki. Tätä varten on käytettävä kytkin suunniteltava lyhyellä kytkeytymisajalla. Myös kytkimen ohjaus on toteutettava niin, että sen vaikutus päälle kytkennän nopeuteen on vähäinen.

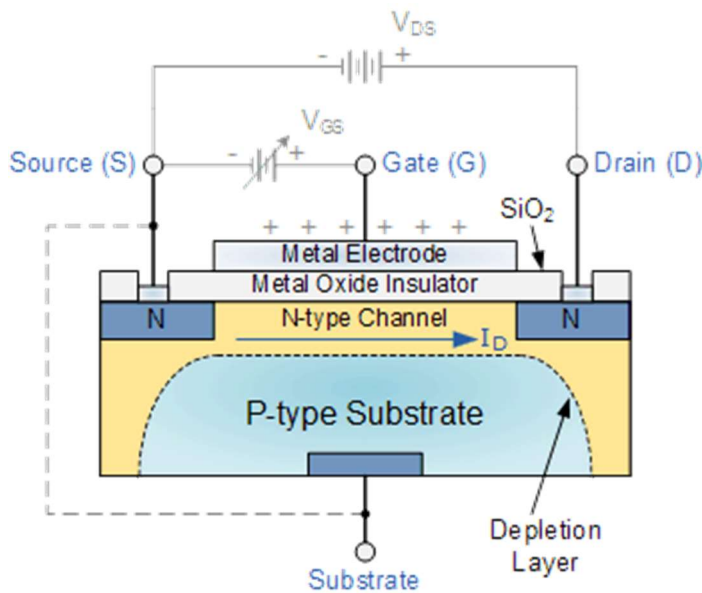
Virtapiikkiä ja testattavaan laitteeseen kulkevaa virtaa tarkastellaan mittaamalla mittaus-vastuksien läpi johdetun paluuvirrän synnyttämää jännitettä. Koska virtapiikkien huippu-arvot voivat nousta erittäin suuriksi on mittausvastusten oltava resistanssiltaan mahdol-lisimman pieniä. Suuremmilla resistansseilla mittausvastuksiin muodostuva teho voi ylit-tää vastusten tehon keston tai rikkoa vastusten liityntäpisteet piirilevyllä. Mittausvastuk-siksi valittiin viisi rinnankytkettyä $0,033 \Omega$:n 2512-koteloitua vastusta, jolloin laskennal-liseksi kokonaisvastukseksi tulee $0,0066 \Omega$. Mittausvastuksiin muodostuvan jännitteen jäädessä erittäin pieneksi tarvitaan mittaussignaaliin vahvistus. Vahvistus saadaan hel-poiten toteutettua käyttämällä ei-invertoivaa operaatiovahvistin kytkentää.

3.2.1 MOSFET



Kuva 3. P- ja N-tyypin MOSFET:ien rakenne ja piirrosmerkit [4.]

MOSFET eli metallioksidipuolijohdekanavatransistori on jänniteohjattu transistori. Tavallisesti MOSFET-transistorit voidaan jakaa kanavatyypinsä perusteella kahteen ryhmään, n- ja p-tyypin MOSFET:ihin, jotka vuorostaan voidaan jakaa toimintatapansa perusteella avaus- tai sulkutyypisiin. Eristehilatransistorit ovat analogisissa ja digitaalisissa piireissä yleisimmin käytetty kanavatransistori. Kuvassa 3 on esitetty MOSFET:n eri rakenteet ja piirrosmerkit. [3.]



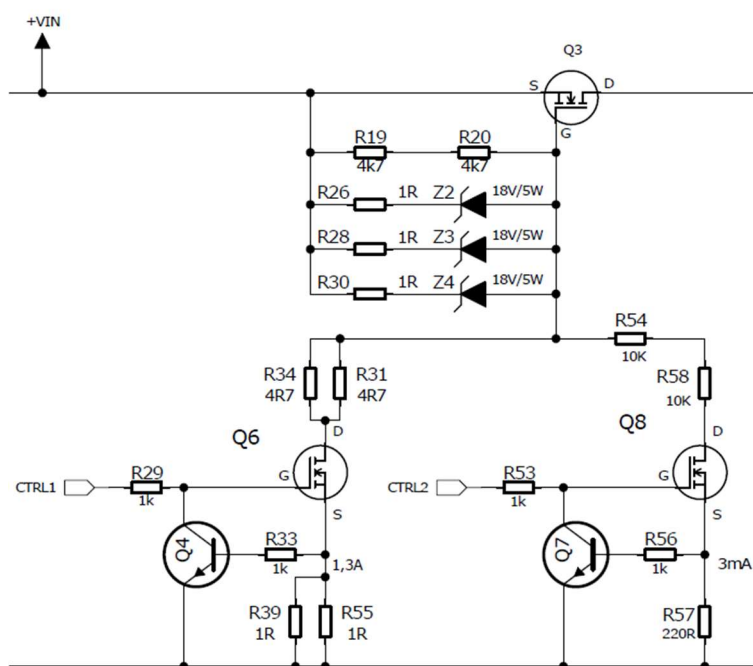
Kuva 4. MOSFET:n rakenne [5.]

Kanavatyyppistä riippumatta MOSFET:ien perusrakenne on sama. Puolijohdesubstraattista valmistettu runko pitää sisällään kaksi samaa puolijohdetyyppi olevaa, vahvasti seostettua aluetta. Nämä alueet ovat nimeltään lähde ja nielu. Puolijohteen päälle on asetettu hila, niin että nielu ja lähde osittain koskettavat hilaa. Hila on puolijohdesubstraattista oksidilla eristetty johtava elektrodi, jonka jännitteellä ohjataan lähteen ja nielun välisen kanavan johtavuutta. Rungon puolijohdetyyppi on aina vastainen lähteeseen ja nieluun nähden. Nielun ja lähteen välistä aluetta kutsutaan kanavaksi. Kuvassa 4 on nähtävissä n-tyyppin MOSFET:n rakenne. N-tyyppissä varauksenkuljettajia ovat elektronit ja p-tyyppissä aukot. Rungon ollessa n-tyyppiä, nielu ja lähde ovat p-tyyppiä. MOSFET:ien puolijohdeosien valmistuksessa yleisimmin käytetty materiaali on pii, mutta valmistuksessa on alettu käyttää myös piin ja germaniumin sekoitetta. Nykyisin hila on usein valmistettu polypiistä metallin sijaan. Tällöin MOSFET:stä voidaan käyttää myös nimitystä IGFET.

Eristeenä toimiva piioksidi, hila ja puolijohde muodostavat kondensaattorin, jonka jännitteellä ohjataan MOSFET:in johtavuutta. Hilan ja rungon välisen jännite-eron luomalla sähkökentällä muokataan varauksenkantajien jakaumaa puolijohdeessa. Useimmiten runko on sisäisesti yhdistetty lähteeseen eikä sille näin ole ulkoista terminaalaa. N-kanavaisessa avaustilaisessa MOSFET:issä positiivinen hilajännitteen V_{GS} ollessa tarpeeksi korkea, sähkökenttää hylkivät varauksen kuljettajat painuvat alas puolijohdeessa ja säh-

köKentän puoleensa vetämät, vastakkaista varausta olevat varauksenkuljettajat, muodostavat nielu ja lähteen väliin niin sanotun käänteisen kanavan. Muodostuva käänteinen kanava on samaa varaustyyppiä nielun ja lähteen kanssa, mikä mahdollistaa virran I_D kulun. P-typin avaustilainen MOSFET puolestaan tarvitsee negatiivisen hilajännitteen johtaakseen.

Sulkutyyppinen MOSFET on johtava, kun hilajännitteen on nolla. N-tyypillä negatiivinen hilajännite tyhjentää kanavan varauksenkuljettajista tehden kanavan johtamattomaksi. P-tyypillä kanavan tyhjentää positiivinen hilajännite.



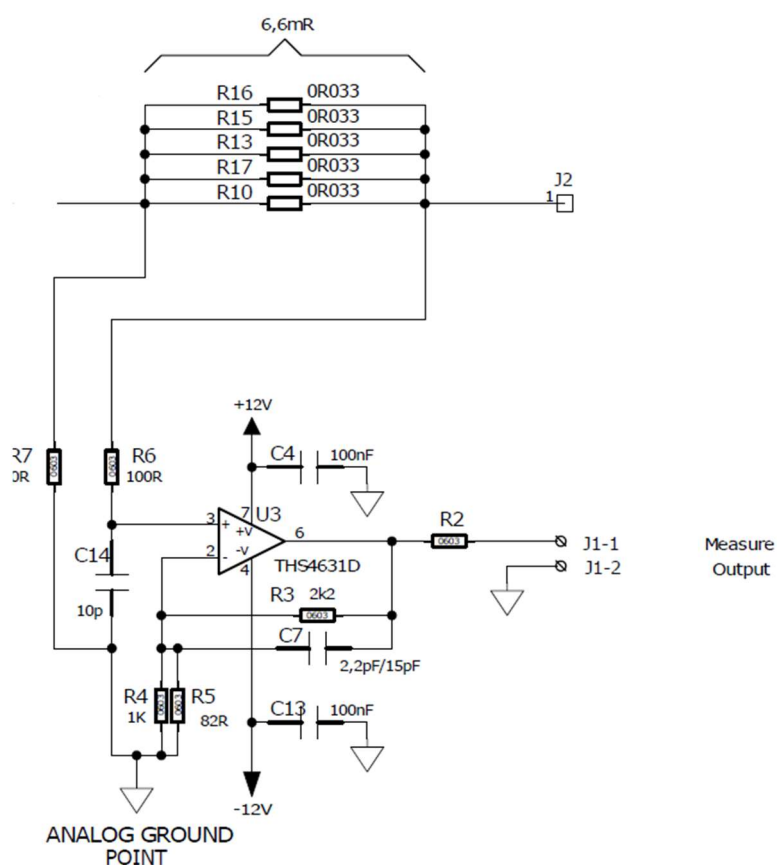
Kuva 5. MOSFET-kytkin ja hilajänniteohjauksen vakiovirtalähteet

Työhön kytkimeksi valikoitui Ixysin PolarP IXTH48P20P teho-MOSFET. Vaatimuksia kytkenä toimivalle MOSFET:ille ovat korkea jännitteen ja tehon kesto sekä mahdollisimman lyhyt kytkeytymisaika. P-kanavatyyppin MOSFET myös mahdollistaa yksinkertaisemman hilaohjauksen. Kytkimen kytkentä on esitetty kuvassa 5.

Kytken ohjaus on toteutettu kahdella hilajännitettä ohjaavalla vakiovirtaregulaattorilla. Regulaattoreita ohjataan prosessorilla. Kytkin avataan antamalla prosessorilta sadan millisekunnin 3,3 voltin pulssi ensimmäiselle regulaattorille, joka vetää kytken hilajän-

nitteen alas 1,3 ampeerin virralla. Sadan millisekunnin jälkeen ohjaussignaali siirtyy toiselle regulaattorille, jolla pidetään kytkin auki kolmen milliampeerin virralla. Kytкин pidetään auki, kunnes testi päätetään painamalla painiketta 2.

3.2.2 Operaatiovahvistin THS4631D



Kuva 6. Mittausvastukset ja operaatiovahvistin.

Mittaussignaali vahvistetaan käyttämällä Texas Instrumentsin THS4631D-operaatiovahvistinta. Käyttämällä ei-invertoivaa operaatiovahvistin kytkentää saadaan mittausvastuksiin syntyvää jännitettä vahvistettua niin, että sen tarkastelu oskilloskoopilla olisi mahdollista matalammilla virroilla. Vahvistin tarvitsee ± 12 voltin käyttöjännitteen. Tämän käyttöjännitteen tuottamiseksi laitteelle syötetty viisi voltia kasvatettava ja vakavoitava halut-

tuun tasoon. Häiriöiden minimoinniksi operaatiovahvistimen käyttöjännite on suodatettava hyvin. Operaatiovahvistimen kytkentä ja mittaustavutukset ovat nähtävissä kuvassa 6.

Ohjaamalla pieni osa lähtöjännitteestä vastuksien kautta invertoivaan tuloon saadaan aikaiseksi negatiivinen takaisinkytkentä. Negatiivisen takaisinkytkennästä muodostuva suljettu silmukka synnyttää stabiilin ei-invertoivan vahvistin kytkennän.

Vahvistettu lähtöjännite saadaan seuraavalla kaavalla

$$V_{out} = (1 + \frac{R_2}{R_1})V_{in}$$

josta vahvistus on

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

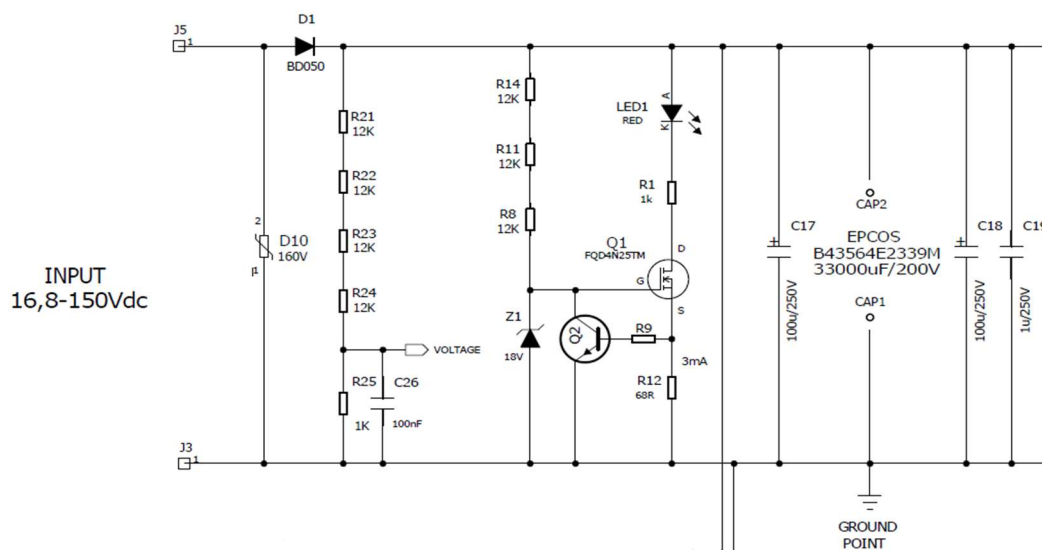
Operaatiovahvistimen jännitevara määrittää vahvistimen lähtöjännitteen suurimman vaihteluvälin. Jännitevaraa tarkastelemalla voidaan määrittää mittaussignaalin leikkaantumaton huippuarvo. Operaatiovahvistimen datalehdessä on ± 15 voltin käyttöjännitteellä, $1\text{ k}\Omega$ kuorman resistanssilla, lähtöjännitteen vaihteluväliksi määritelty $13,5$ voltia. Lähtöjännitteen voidaan olettaa oskilloskoopin $1\text{ M}\Omega$ resistanssilla ja takaisinkytkennän noin $22750\ \Omega$ resistanssilla, noudattavan vähintään samaa suhdetta.

$$\frac{13,5V}{15V} = 0,9$$

$$12V \times 0,9 = 10,8V$$

Mittausvastuksien $0,0066\ \Omega$ kokonaisresistanssill, kertoimella 30 voitaisiin siis mitata 54 ampeerin virtaa ilman lähtöjännitteen leikkaantumista.

3.2.3 Kondensaattori 30000uF Epcos B43564E2339M



Kuva 7. Kondensaattoriryhmä, Varoitus-LED-piiri ja Jännitteen mittaus ja purkupiiri

Energialähteeksi valittavan kondensaattorin arvo määritellään standardissa EN50133 olevan vähintään 10 000 μF . Koska Teknoware Oy:n tuotteet suunnitellaan asiakaskohdaisesti, ei vähimmäismääritelmän riittävydestä oli tulevaisuudessa takuita. Tästä syystä käytetty ulkoinen kondensaattori ylimitoitettiin 30 000 μF :iin. Käytettävä kondensaattori on Epcosin B43564E2339M alumiinielektrolyyttikondensaattori. Ulkoisen kondensaattorikytkennän rinnalle sijoitetuilla kapasitanssiltaan pienemmillä kondensaattoreilla varmistetaan energian nopea purkautuminen.

Mittalaitteen turvallinen käyttö, huolto ja säilytys on turvattava sisäisellä purkupiirillä ja jännitteen mittauksella. Varautuneesta kondensaattorista voi väärin käsiteltynä päästä purkautumaan huomattava oikosulkuvirta.

Jännitteen mittaus on sovitettu purkupiiriin kanssa yhteen. Purkupiiri koostuu viidestä vastuksesta ulkoisen kondensaattoriliitännän ja maatason välillä. Jännitteen jaolla lasketaan mikrokontrollerin mittaustulon jännitettä. Mittaustulon jännite saa maksimissaan olla neljä voltia.

Jänniteen jaon kaava voidaan esittää seuraavasti

$$V_{meas} = \frac{R_{25}}{R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24} + R_{25}} \times V_{in}$$

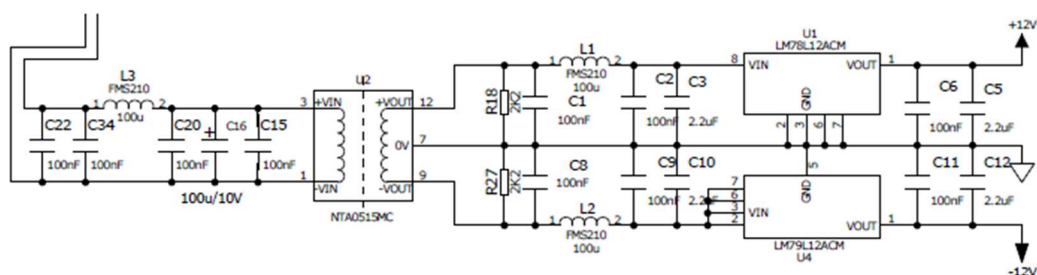
Jännitteen jako mitoitetaan sisään tulevan jännitteen maksimiarvolla seuraavasti

$$V_{meas} = \frac{1000\Omega}{12000\Omega + 12000\Omega + 12000\Omega + 12000\Omega + 1000\Omega} \times 150V$$

$$V_{meas} = 3,19V$$

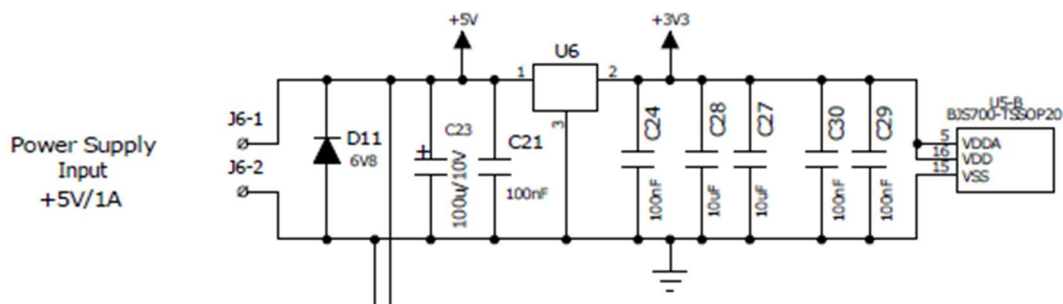
Mittaustulos tulostetaan LCD-näytölle, mistä testilaitetta operoiva henkilö voi varmistaa jännitetason olevan haluamassaan arvossa.

3.2.4 Mikrokontrolleri ja teholähteet



Kuva 8. Operaatiovahvistimen tehonlähde

Muratan NTA0515MC DC/DC-muuntimella kasvatetaan viiden voltin ulkoisesti syötetty jännite ± 15 volttiin. Käyttämällä regulaattoreita LM78L12ACM ja LM79L12ACM saadaan operaatiovahvistimelle haluttu ± 12 voltin käyttöjännite. Sekä muuntajan lähdöstä ja tulosta on suodatettava pois ei-toivotut taajuudet. Käyttöjännitteessä operaatiovahvistimelle kulkeutuvat häiriöt voivat pilata luettavat mittaustulokset. Säteilevien häiriöiden välittyminen estetään jakamalla johtimet lyhyempiin jaksoihin suodatuskondensaattoreilla.



Kuva 9. Mikrokontrollerin tehonlähde.

Mikrokontrollerille ja LCD-näytölle tarvittava 3,3 voltin jännite saadaan käyttämällä On Semiconductorsin NCP565D2T33R4G 3,3 voltin regulaattoria. Niin kuin operaatiovahvistimen käyttöjännite myös mikrokontrollerin käyttöjännite on tärkeä suodattaa huolellisesti. Kuvassa 9 on mikrokontrollerin tehonlähteessä käytetty kytkentä.

Käytettäväksi mikrokontrolleriksi valittiin STMicroelectronicsin STM32F030-kontrolleri TSSOP20 kaksikymmentäpinnisessä kotelossa. Tähän järjestelmään tuotekehitysosastolta löytyvä ohjelmointikokemus oli hyvän saatavuuden lisäksi syy kontrollerin valintaan.

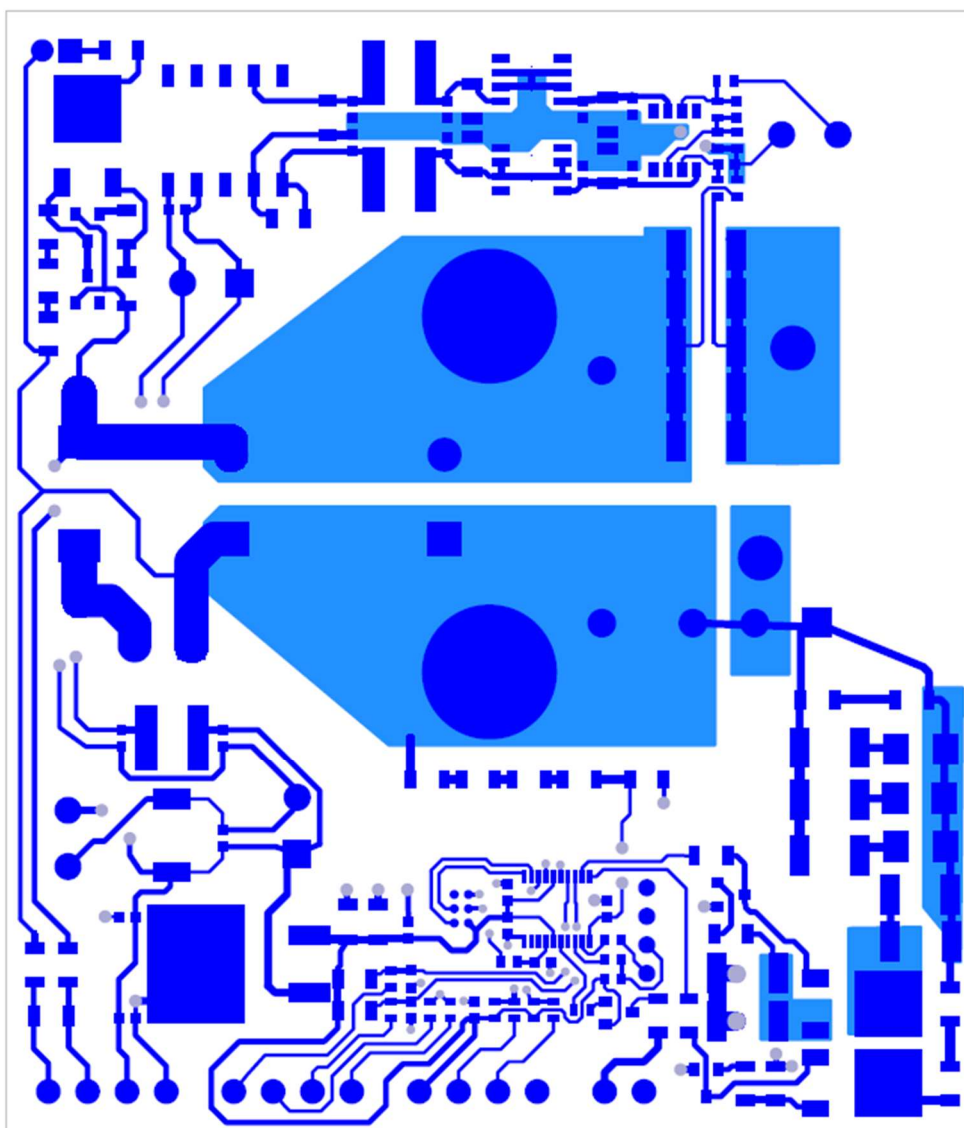
Koska käytössä ei ole korkeataajuisia signaaleja ei piirilevyn piirtäminen vaadi erityistä tarkkuutta, operaatiovahvistinta lukuun ottamatta. Väärin sijoitellut komponentit ja liian pitkät johtimet voivat tehdä operaatiovahvistimesta erittäin korkeataajuisen värähtelypiirin.

Piirilevyn suunnittelun ensimmäinen vaihe oli luoda enintään 50 ampeerin piikkivirrälle ja 5 ampeerin jatkuvalle virrälle riittävä kulkureitti. Koska virtapiikki kulkee piirissä vain muutamia mikrosekunteja, voidaan olettaa, ettei johtimiin syntyvä hukkateho juurikaan nosta johtimien lämpötilaa. Näin johtimet voitiin mitoittaa vapaasti pyrkien kuitenkin tekemään niistä mahdollisimman leveät. Tällä estetään myös johtimia rajoittamasta kytkentävirtapiikin virtaa. Muiden johtimien leveydeksi asetettiin 0,4 mm.

4.1 PADS Layout

Suunnittelussa käytettiin PADS Logicin kanssa samaan kokonaisuuteen kuuluvaan PADS Layout-ohjelmaa. Samaan ohjelmistokokonaisuuteen kuuluvien ohjelmien käyttö tuo etuna saumattoman suunnittelun siirron piirikaaviosta piirilevylle. Logicilla piirretty piirikaavio voidaan tuoda Layoutiin, jolloin ohjelmien kirjastoista löytyvät komponentit latautuvat automaattisesti ja muuttuvat piirikaaviomerkeistä komponenttikuviksi. Tätä projektia varten vain muutamalle komponentille jouduttiin luomaan ohjelmien kirjastoon kuvat. Muuten komponentin löytyivät valmiina tuotekehitysosaston kirjastoista.

PADS on Suomen yleisimmin käytetty elektroniikan suunnitteluohjelmisto. Sen tuntemus on nykypäivänä edellytys työskentelylle elektroniikan parissa. Ohjelmiston korkea hinta kuitenkin rajaa sen ammattilaiskäyttöön. Tämän projektin toteuttaminen on kuitenkin mahdollista myös tarjolla olevilla ilmaisohjelmilla.



Kuva 11. Piirilevyn yläpuoli.

4.2 Komponenttien sijoittelu

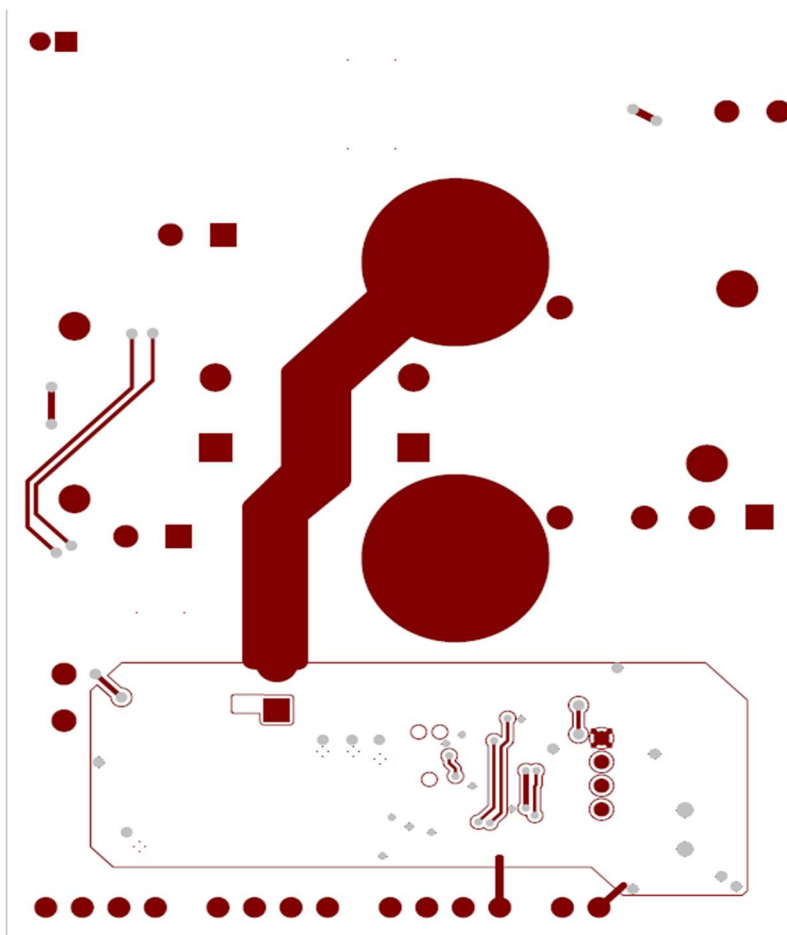
Levy voidaan jakaa kolmeen eri piiriin: mittaus-, ohjaus- ja suurvirtapiiriin. Mittauspiiri pitää sisällään operaatiovahvistimen ja sen teholähteen. Suurvirtapiiri sisältää vain kyt-kentävirtapiikin tuottamiseen tarkoitetut komponentit. Tähän kuuluvat myös tulo- ja läh-töliittimet. Ohjauspiiri on mikrokontrollerin ympärille rakentuva piiri, joka pitää sisällään viiden voltin syöttöjännitteen vakavoinnin 3,3 voltin käyttöjännitteeksi, liittimet kytkimille, indikaattoriledille ja LCD-näytölle sekä kytkimen ohjaamisessa käytetyt vakiovirtalähteet. Erilliseksi muista piireistä jää varoitus-led ja sen vakiovirtalähde. Tämä piiri sijoitetaan viimeisenä paikkaan, jossa sille on tilaa. Komponentit sijoitellaan paikalleen seuraamalla

piirikaavion järjestystä. Komponenttien sijoittelu piirilevyn yläpuolella on nähtävissä kuvasta 11.

Komponenttien sijoittelu aloitettiin ulkoisen kondensaattorin napojen asettamisella keskelle levyä, jotta linja ulkoiselta teholähteeltä tuleville ja testattavaan laitteeseen lähteviin liittimiin olisi suora ja lyhyt. Kondensaattorin ruuviliittimien kannat tulevat levyn yläpuolelle, mikä rajaa levyn pohjan käytettäväksi johtimiin ja maatasoihin. Samalla keskitetään suuret jännitteet ja virrat levyn keskiosaan, jolloin herkemmat komponentit voidaan sijoittaa levyn reunoille riittävän etäälle kyseisistä johtimista.

Levyn yläosaan sijoitettiin laitteiston mittaussiiri. Operaatiovahvistimen tulonastat oli sijoitettava mittausvastusten välittömään läheisyyteen johtimiin muodostuvien häiriöiden ehkäisemiseksi. Käyttöjännitteelle luodaan lyhyt ja selvä reitti muuntimelta regulaattorien läpi operaatiovahvistimelle. Operaatiovahvistimen suodatuskondensaattorit ja vahvistussilmukan komponentit on sijoitettava tiiviiseen pakettiin operaatiovahvistimen välittömään läheisyyteen. Näin estetään nopean vahvistimen muuttuminen korkeataajuiseksi oskillaattoriksi.

Alaosaan järjestellään loput mittalaitteen toiminnollisesta elektroniikasta. Kytkimen hilaohjauksen vakiovirtaregulaattorit sijoitetaan lähelle MOSFET-kytkimen hilaa. Mikrokontrolleri sijoitettiin lähes keskelle levyn alareunaa, jotta yhteyksien vetäminen ohjattaville toiminnoille ja levyn reunaan sijoitetuille liittimille olisi helpompaa. Kontrollerin pinnitiheydestä johtuen joitain vetoja jouduttiin tekemään levyn pohjaan. Pohjaan tehtävät vedot oli pyrittävä pitämään lyhyinä ja varmistettava pohjaan sijoitetun maatason eheys.



Kuva 12. Piirilevyn pohja.

4.3 Maatasot

Mittaustarkkuuden säilyttämiseksi operaatiovahvistimen oli luotava oma maapiste. Operaatiovahvistimen invertoiva tulo yhdistyy maapisteeseen vahvistussilmukan vastuksien R4 ja R5 kautta. Tämä estää maatason potentiaalin muutoksia vaikuttamasta vahvistukseen ja sitä kautta mittaustulokseen. Levyn alareunan piireille luotiin yhteinen maataso. Tämä taso on suorassa yhteydessä ulkoisen kondensaattorin negatiiviseen nasaan, joka toimii levyn yleisenä maapisteenä. Levyn yleiset maatasot on esitetty kuvassa 12.

5 Testaus

Mittalaitteen prototyypille suoritettavat testit voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: toiminnan varmentaminen, toiminnan todentaminen ja käytön testaaminen. Toiminnan varmentamisella käydään läpi kaikki laitteen toimintaan vaikuttavat osa-alueet ja varmistetaan laitteen toimivan oikein. Toisessa vaiheessa eli toiminnan todentamisessa testataan laitteen edellytyksiä suorittaa siltä vaaditut toimet ja todistetaan laitteen täyttävän sille asetetut vaatimukset. Viimeisessä vaiheessa laitetta käytetään sen normaalissa käyttöympäristössä sille tarkoitettuihin tehtäviin. Ensimmäinen vaihe suoritetaan ilman ulkoista kondensaattoria.

5.1 Testilaitteet

Taulukossa 2 on esitelty testeissä käytetyt laitteet. Kaikki käytetyt laitteet kuuluvat Teknoware Oy:n tuotekehityslaboratorion varusteisiin.

Taulukko 2. Testeissä käytetyt laitteet

Kuvaus	Laite
Teholähde	GW Instek DC power supply 360 W
Teholähde	GW Instek DC power supply 360 W
Yleismittari	Fluke 289
Oskilloskooppi	Keysight InfiniiVision DSO-X 2024

5.2 Toiminnan varmentaminen

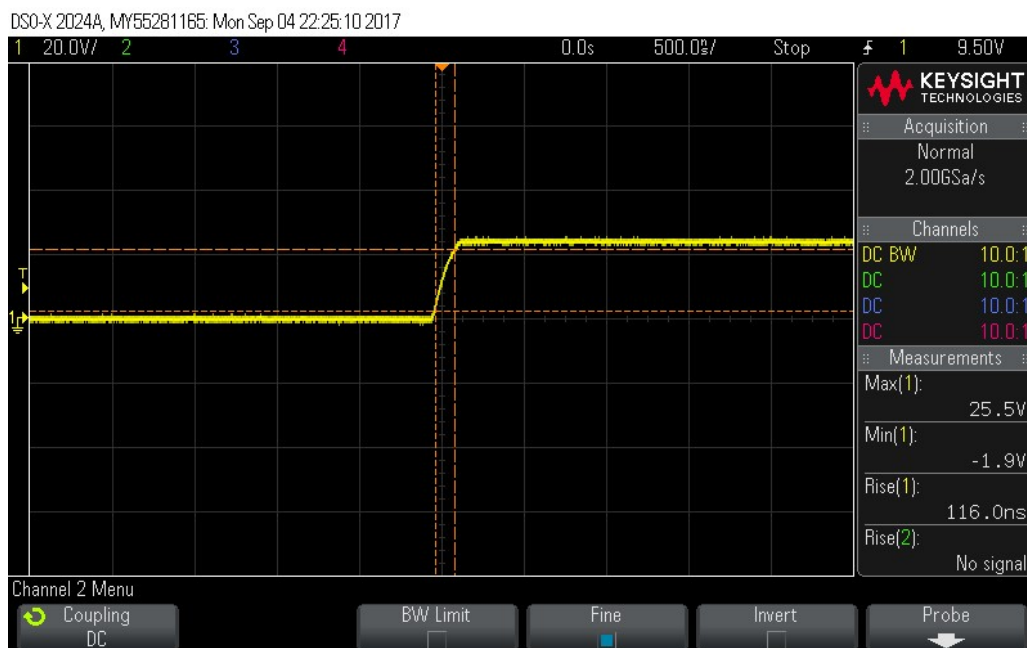
Toiminnan varmentamisessa tarkastettiin laitteen toimintaan edellytetyt järjestelmät ennen varsinaisten mittaustoimien testaamista. Tällä tavalla varmistettiin järjestelmien virheetön toiminta ja paikallistettiin mahdolliset suunnittelussa tapahtuneet virheet. Testattavia järjestelmiä olivat operaatiovahvistimen teholähteen ja operaatiovahvistimen toiminta sekä mikrokontrollerin teholähteen ja mikrokontrollerin toiminta. Testaukseen osallistui ohjelmiston suunnitellut ohjelmistosuunnittelija.

Teholähteiden toiminta varmistettiin mittaamalla yleismitarilla tuotettujen jännitteiden arvot ulostuloissa. Testeissä havaittiin, että mikrokontrollerin teholähteen regulaattorin NCP565D2T33R4G piirikaaviokuvan piirtämisessä oli tapahtunut virhe. Regulaattorin johdinjärjestys piirikaaviokuvassa ei vastannut oikeaa johdinjärjestystä. Tästä syystä regulaattorin tuottama 3,3 voltin jännite oli suorassa yhteydessä maatasoon ja oli näin ollen oikosulussa. Regulaattori ei ollut vahingoittunut ja se saatiin toimimaan hyppylankojen avulla oikein. Korjauksen jälkeen regulaattorin ulostulosta mitattiin oikea 3,3 voltia. Operaatiovahvistimen teholähteestä ei löytynyt ongelmia, ja ulostulosta mitattiin tarvittavat 12 ja -12 voltia.

Operaatiovahvistimen toimintaa tarkasteltiin oskilloskoopilla vahvistimen ulostulosta. Oskilloskoopin kuvasta pystyttiin päättämään, ettei operaatiovahvistimen toiminnassa ollut häiriöitä ja että se oli valmis testaamisen seuraavaan vaiheeseen.

Mikroprosessorin toiminta varmennettiin yhdessä ohjelmistosuunnittelijan kanssa. Mikrokontrollerin lähtöihin CTRL1 ja CTRL2 kytkettiin ledit, jotka syttyisivät testin käynnistyttyä. Näin voitiin tarkastaa ohjaussignaalien vaihtuminen. Mikroprosessorin ja ohjelmiston todettiin olevan valmiita testaamisen seuraavaan vaiheeseen.

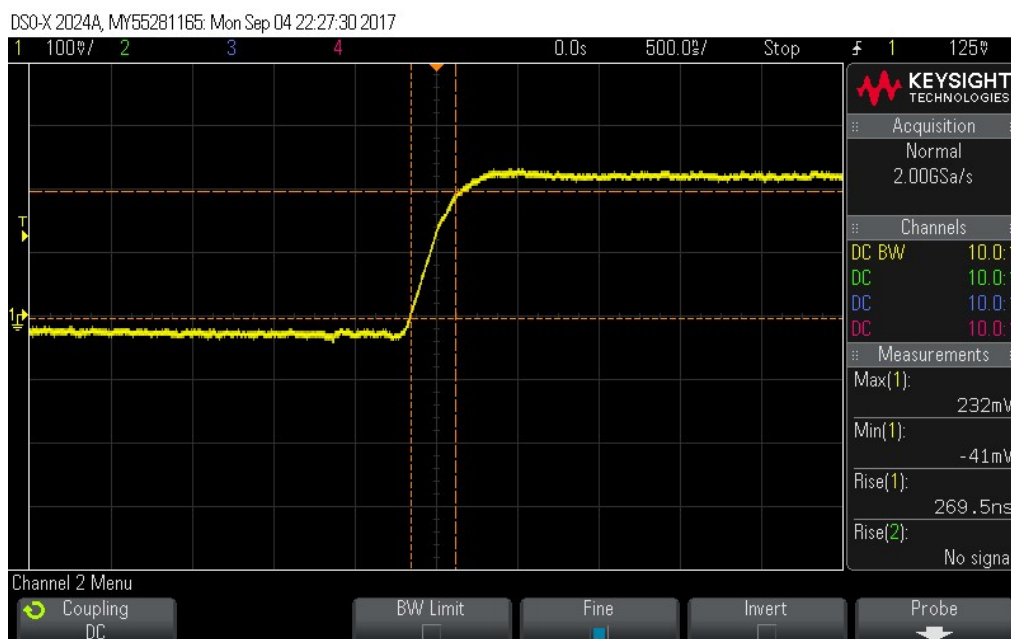
5.3 Toiminnan todentaminen



Kuva 13. Kytkeytymishetki mitattuna mittalaitteen ulostulosta.

Toiminnan todentamisessa mitataan mittalaitteen kytkeytymistä kuormaan ja verrataan mittaustulostulosta saatuja arvoja tunnettuun testikuormaan. Testikuormana käytettiin vastuksista rakennettua teholtaan 24 watin kuormaa. Tällä kuormalla 24 voltin testijännitteellä kytkeytyvän virran arvoksi tuli yksi ampeeri. Mitattavia arvoja ovat ulkoisen kondensaattorin jännite ennen testin aloittamista, kytkeytymisnopeus, vahvistuspiirin ulostulo ja nopeus. Tätä vaihetta varten ulkoinen kondensaattori oli kytkettynä mittalaitteeseen.

Kuvassa 13 olevasta oskilloskooppikuvasta nähdään 24 voltin kytkeytyneen kuormaan oikein 116 nanosekunnin nopeudella. Tästä voidaan päätellä kytkimen toimivan oikein ja että kytkeytymisnopeus tulee riittämään laitteella suoritettaviin testeihin. Huomattava on, että kuvassa näkyvä 25,5 voltin arvo vastaa ulkoisen teholähteen syöttämää arvoa, mikä tarvitaan lataamaan ulkoinen kondensaattori 24 volttiin.



Kuva 14. Mittausulostulon oskilloskooppikuva 24 watin testikuormalla.

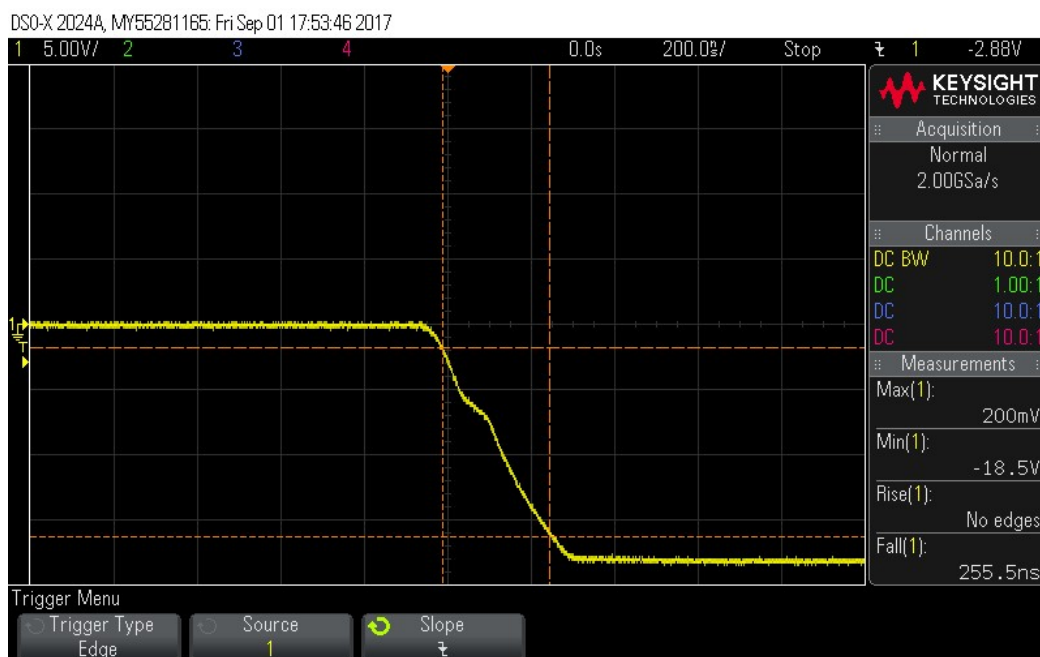
Seuraavaksi tarkasteltiin mittauksen vahvistusta. Kuvasta 14 nähdään mittausvastuksiin muodostuvan jännitteen saavuttavan 232 millivolttia ajassa 269,5 nanosekuntia. Mittaukseen muodostui siis kytkeytymiseen nähden 153,5 nanosekunnin viive. Kertoimen ollessa 30 ja mittausvastuksien kokonaisresistanssin ollessa $0,0066 \Omega$ voitiin mittaustulokselle laskea jakajaksi $0,198 \Omega$. Jakamalla tällä mittaustulos saadaan mittausvastuksien läpi kulkeva virta.

$$I_{act} = \frac{\frac{V_{max}}{30}}{0,0066\Omega}$$

$$I_{act} = \frac{V_{max}}{0,198\Omega}$$

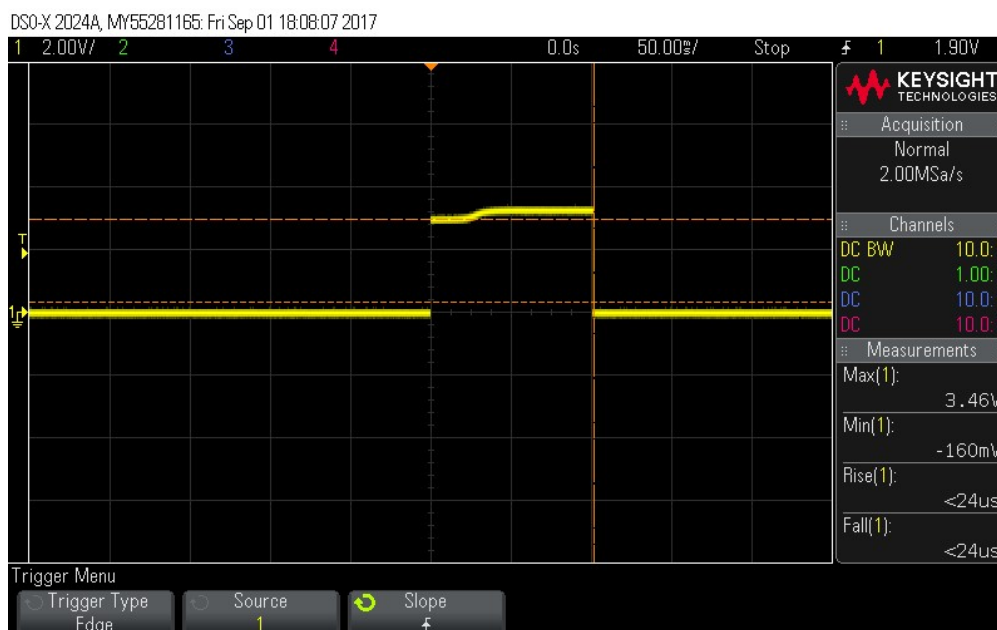
$$I_{act} = \frac{0,232V}{0,198\Omega} \approx 1,17A$$

Lasketusta yhden ampeerin virrasta poikkeava mittaustulos johtui käytettyjen resistanssien toleransseista.



Kuva 15. Kytkimen hilajännite mitattuna kytkentähetkellä.

Todentamisessa oli tarkistettava myös kytkimen ohjaussignaalin virheetön toiminta. Toimintaa voitiin tarkastella mittaamalla kytkimen hilajännitettä ja ensimmäisen vakiovirtalähteen ohjaussignaalia. Kuvasta 15 näkee kytkimen hilajännitteen muutoksen kytkentähetkellä. Hilajännite laski haluttuun arvoonsa 18,5 voltia ajassa 255,5 nanosekuntia. Viive hilajännitteen muutoksessa johtui kytkimenä toimivan MOSFET:n sisäisestä kapasitanssista. Käytössä oleva P-tyypin teho-MOSFET IXTH48P20P pystyy jo 6,5 voltin negatiivisella hilajännitteellä johtamaan halutun viidenkymmen ampeerin virran. Kuvasta 16 seuraavalla sivulla voidaan nähdä vakiovirtalähteen ohjaussignaali. Signaali oli haluttu 3,3 voltin, 100 millisekunnin pulssi. Mittalaitteen voitiin siis todeta toimivan halutulla tavalla



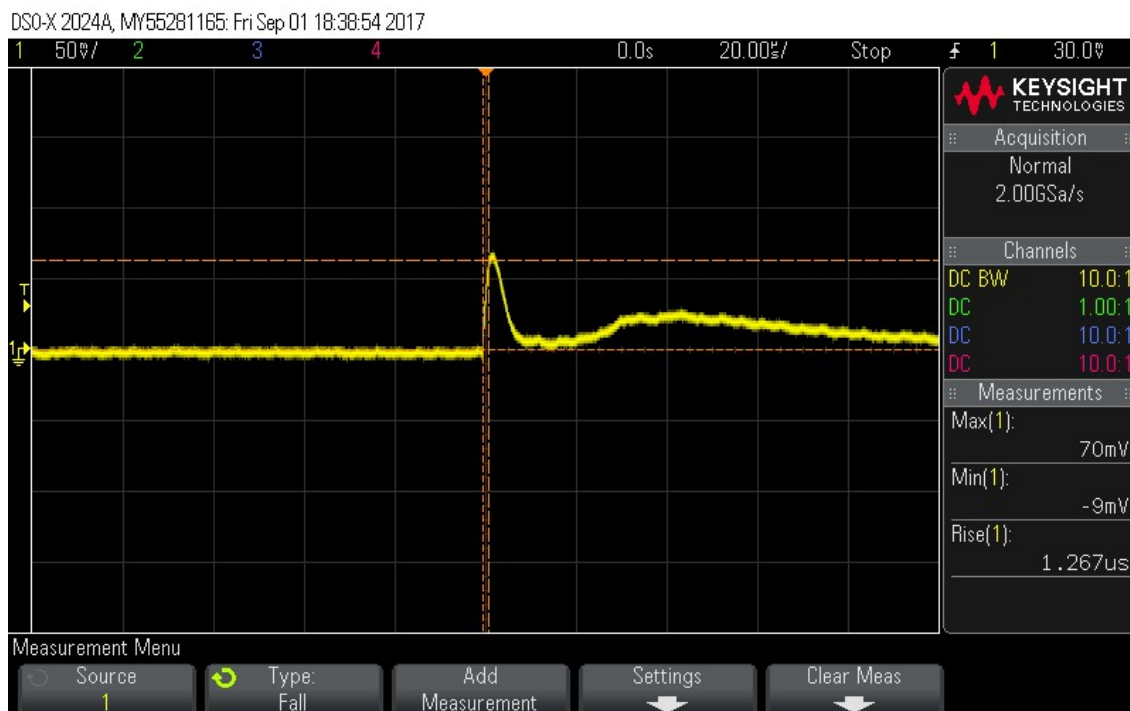
Kuva 16. Ensimmäisen vakiovirtalähteen ohjaussignaali.

5.4 Käytön testaaminen

Testauksen viimeisessä vaiheessa mittalaitetta käytetään sellaisten laitteiden testaamiseen, jotka päälle kytkeytyessään varmasti tuottavat kytkentävirtapiikin. Tässä vaiheessa laitteen toiminta on todennettu ja sen tiedetään täyttävän sille asetetut vaatimukset. Toistamalla testi muutaman kerran samalla laitteella ja vertailemalla tuloksia varmistetaan mittalaitteen käytettävyyttä tuotekehityksen todentamistesteissä. Testattavana laitteena oli 60 ledin hakkuriteholähteinen valaisin. Valaisimeen lisättiin 6,8 mikrofaradia kapasitanssia kytkentävirtapiikin kasvattamiseksi.

Mittaukset suoritetaan oskilloskoopilla. Ensin tarkastellaan mittausvastuksiin muodostuvaa jännitettä. Jännitteen huippuarvon perusteella saadaan laskettua vastusten läpi kulkeeseen virtapiikkiin ampeerimäärä.

$$I_r = \frac{V_R}{R_{totmeas}}$$

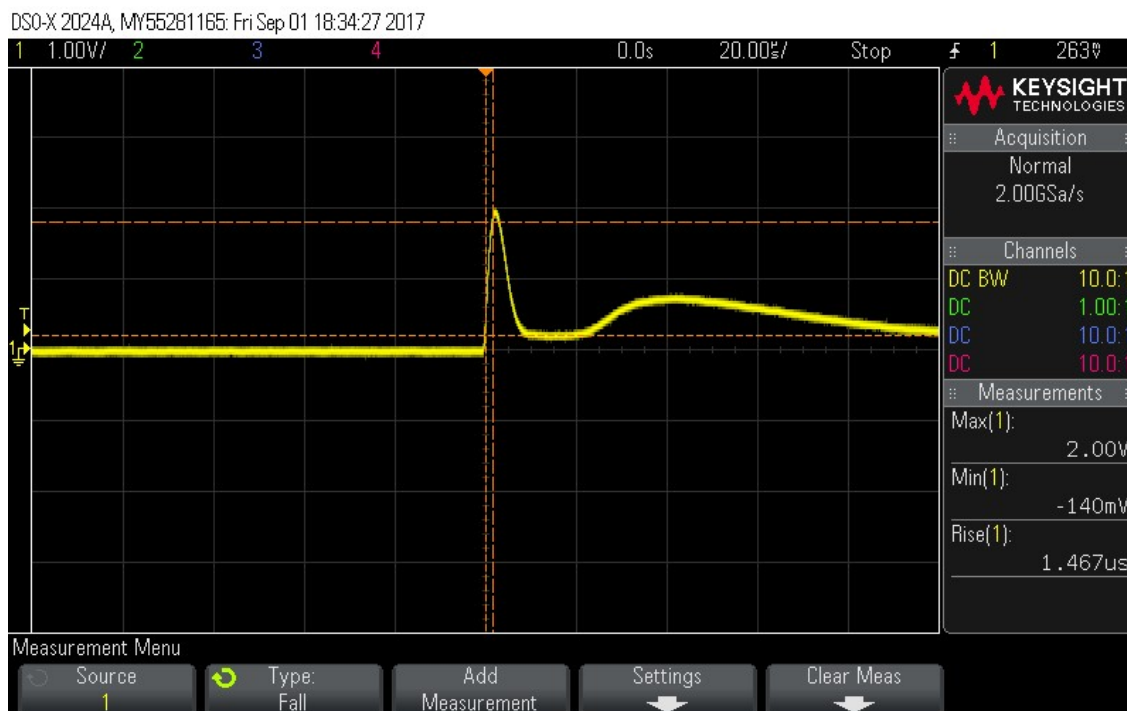


Kuva 17. Kytentävirtapiikki mittausvastuksiin muodostuneena jännitteenä

Mittaamalla saatiin jännitteelle 70 millivoltin huippuarvo. Tällöin virraksi saatiin 10,6 ampeeria.

$$I_r = \frac{0,070V}{0,0066\Omega} \approx 10,6 A$$

Mittausulostulosta mitattu 30-kertaisesti vahvistetun tuloksen piti siis olla 2,1 voltia. Oli odotettavaa, että ulostulosta mitatussa arvossa olisi pientä vääristymää, jonka voitiin olettaa johtuvan vahvistussilmukassa käytettyjen vastusten toleransseista ja operaatiovahvistimen tulon offset-jännitteestä.



Kuva 18. Kytentävirtapiikki mitattuna mittaustulostulolta.

Seuraavaksi tarkasteltiin operaatiovahvistimen ulostulolta vahvistettua mittaussignaalia. Oskilloskooppi ilmoitti signaalin huippuarvoksi 2,0 voltia. Jaettuna $0,198\Omega$ jakajalla tämä jännite vastaa 10,1 ampeerin virtaa. Heittoa mittaustulosten välille syntyi siis 0,1 voltia tai 0,5 ampeeria. Testin päättämisen jälkeen tarkistettiin operaationvahvistimen offset-jännite mittaamalla ulostuloa yleismittarilla. Kuorman ollessa kytkettynä pois päältä saadaan ulostulosta mitattua -24 millivoltia. Jos tämä tulos otetaan huomioon vahvistetussa mittaustuloksessa, nousee laskennallinen virta 10,2 ampeeriin. Loppu vääristymä selittyy vastusten toleranssilla, mistä johtuen vahvistuskerroin ei ole absoluuttisesti 30.

$$I_{act} = \frac{V_{max} + 0,024V}{0,198\Omega}$$

$$I_{act} = \frac{2,00V + 0,024V}{0,198\Omega} \approx 10,2A$$

6 Yhteenveto

Testien lopputuloksesta voidaan mittalaitteen suunnittelutyö todeta laitteen täyttävän sille asetetut vaatimukset. Laitteen mittaustuloksissa ilmenneet vääristymät tarkoittavat, että laitteen kehitystyötä tullaan jatkamaan käytön ohella. Mittalaite voidaan kuitenkin luovuttaa tuotekehitysosaston käyttöön.

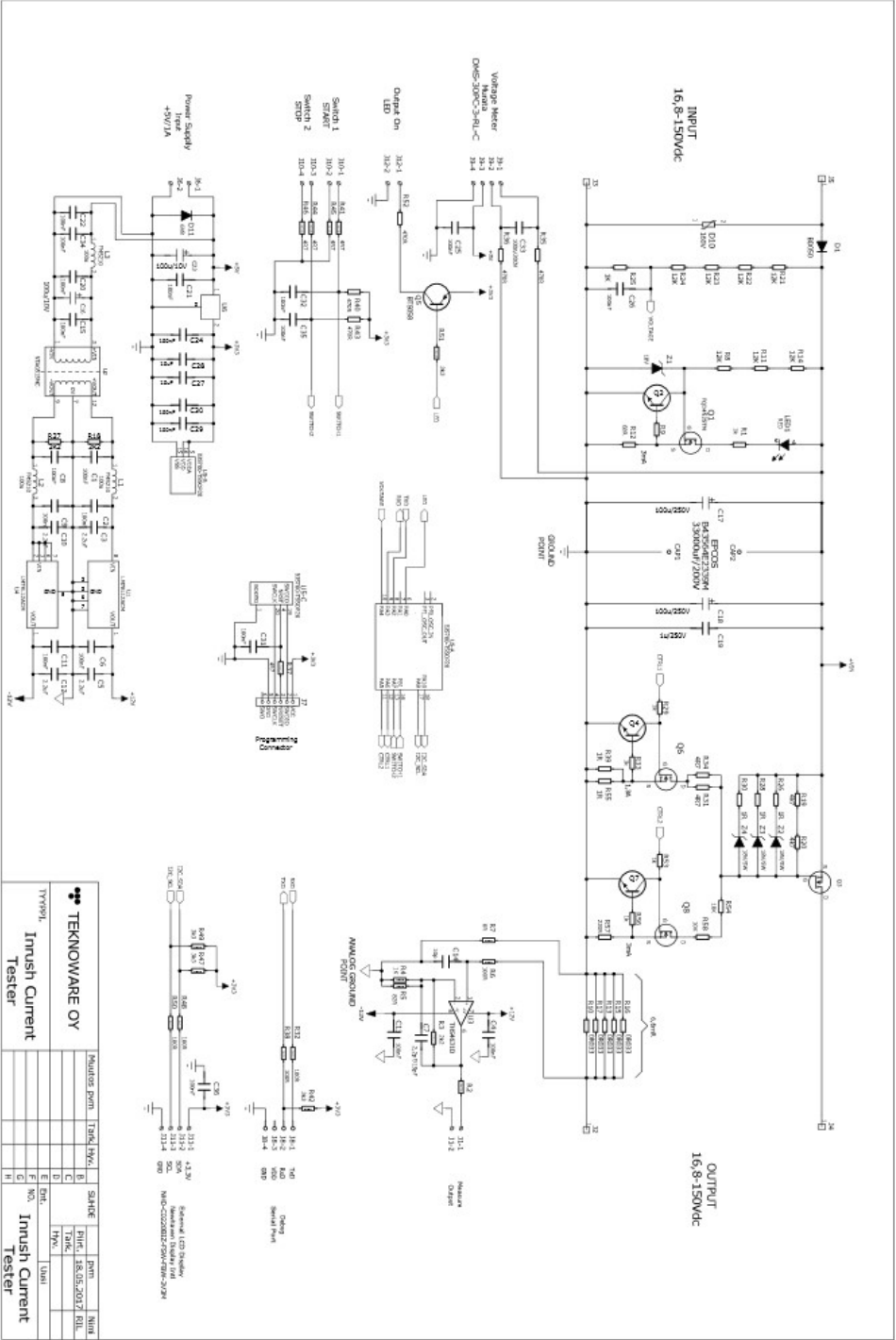
Mittalaitetta tullaan käyttämään Teknoware Oy:n ajoneuvoelektroniikan tuotekehitysosastolla uusien tuotteiden suunnittelun todentamiseen standardien tai asiakkaan toiveiden niin vaatiessa. Laitteen yksinkertainen toiminta tekee mahdollisista muokkauksista helposti toteutettavia. Piirikaaviot ja piirilevyjen tiedostot sekä komponenttiluettelot tallennetaan Teknowaren tietokantaan, missä ne ovat jokaisen suunnittelijan käytettävissä.

Yksi tulevista kehityskohteista on toiminnan viiveiden minimointi. Oletettavin syy viiveeseen on kytkimen ohjauksen vakiovirtalähteissä käytettyjen MOSFET:ien sisäinen kapasitanssi. Nykyinen noin 650 pikofaradin kapasitanssi estää ohjaussignaalia nostamasta MOSFET:ien hilajännitettä tarvittuun tasoon riittävän nopeasti. Mitattavien laitteiden käyttöjännitteiden vaihtelu 16,8 ja 150 voltin välillä ja ohjaukseen käytetty 3,3 voltin signaali vaikeuttavat sopivien komponenttien löytymistä. Tämän lisäksi laitteelle laaditaan käyttöohjeet ja kotelointiohjeet. Testauskäytössä olevan mittalaitteen tulee olla koteloitu.

Lähteet

- 1 Elliot Rod. 2013. Inrush Current. Verkkoaineisto. Elliot Sound Products. <<http://sound.whsites.net/articles/inrush.htm>> Päivitetty 25.9.2013. Luettu 15.8.2017
- 2 Standardi. 2017, Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Standardi>> Päivitetty 28.4.2017. Luettu 12.8.2017
- 3 MOSFET. 2017. Verkkoaineisto Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/MOSFET>> Päivitetty 5.2.2017. Luettu 18.8.2017
- 4 The MOSFET. Other tutorial on transistors. Kuva. Electronics Tutorials. <http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_6.html>
- 5 The MOSFET. Other tutorial on transistors. Kuva. Electronics Tutorials. <http://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_6.html>

Piirikaavio



3 Ohjelmistoraportti

Description

1.1. Project

Project Name	Inrush_test_project
Board Name	Inrush_test_project
Generated with:	STM32CubeMX 4.22.0
Date	09/06/2017

1.2. MCU

MCU Series	STM32F0
MCU Line	STM32F0x0 Value Line
MCU name	STM32F030F4Px
MCU Package	TSSOP20
MCU Pin number	20

Pinout Configuration

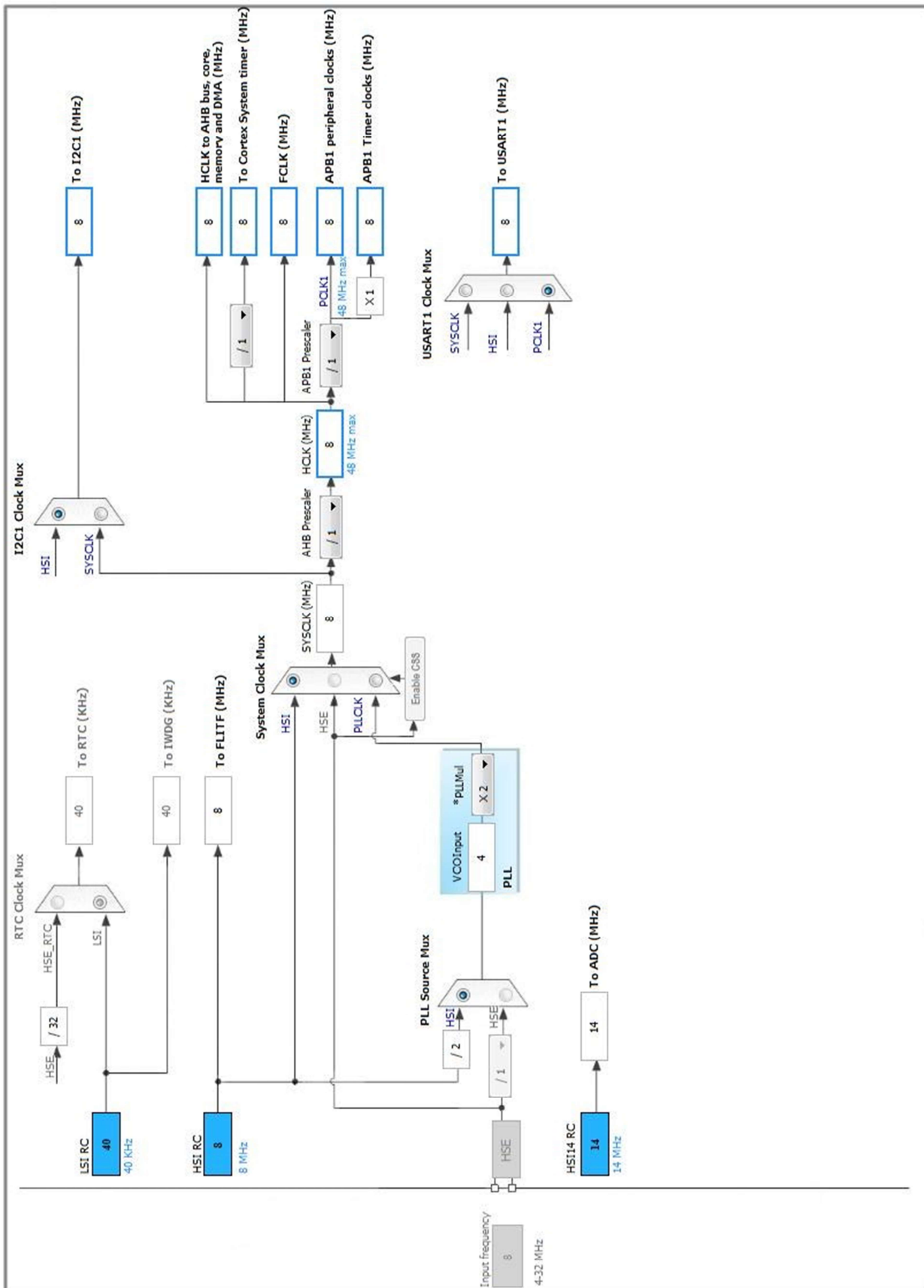


Pins Configuration

Pin Number TSSOP20	Pin Name (function after re- set)	Pin Type	Alternate Func- tion(s)	Label
1	BOOT0	Boot		
2	PF0-OSC_IN *	I/O	GPIO_Output	
3	PF1-OSC_OUT *	I/O	GPIO_Output	
4	NRST	Reset		
5	VDDA	Power		
6	PA0 *	I/O	GPIO_Output	LED
7	PA1 *	I/O	GPIO_Output	
8	PA2	I/O	USART1_TX	
9	PA3	I/O	USART1_RX	
10	PA4	I/O	ADC_IN4	VOLTAGE
11	PA5 *	I/O	GPIO_Output	CTRL2
12	PA6 *	I/O	GPIO_Output	CTRL1
13	PA7 *	I/O	GPIO_Input	SWITCH2
14	PB1 *	I/O	GPIO_Input	SWITCH1
15	VSS	Power		
16	VDD	Power		
17	PA9	I/O	I2C1_SCL	
18	PA10	I/O	I2C1_SDA	
19	PA13	I/O	SYS_SWDIO	
20	PA14	I/O	SYS_SWCLK	

* The pin is affected with an I/O function

Clock Tree Configuration



IPs and Middleware Configuration

ADC mode: IN4

Parameter Settings:

ADC_Settings:

Clock Prescaler	Asynchronous clock mode
Resolution	ADC 12-bit resolution
Data Alignment	Right alignment
Scan Conversion Mode	Forward
Continuous Conversion Mode	Disabled
Discontinuous Conversion Mode	Disabled
DMA Continuous Requests	Disabled
End Of Conversion Selection	End of single conversion
Overrun behaviour	Overrun data preserved
Low Power Auto Wait	Disabled
Low Power Auto Power Off	Disabled

ADC_Regular_ConversionMode:

Sampling Time	1.5 Cycles
External Trigger Conversion Source	Regular Conversion launched by software
External Trigger Conversion Edge	None

WatchDog:

Enable Analog WatchDog Mode	false
-----------------------------	-------

I2C1

I2C: I2C

Parameter Settings:

Timing configuration:

I2C Speed Mode	Standard Mode
I2C Speed Frequency (KHz)	100
Rise Time (ns)	0
Fall Time (ns)	0
Coefficient of Digital Filter	0
Analog Filter	Enabled
Timing	0x2000090E

Slave Features:

Clock No Stretch Mode	Disabled
General Call Address Detection	Disabled
Primary Address Length selection	7-bit
Dual Address Acknowledged	Disabled
Primary slave address	0

SYS mode: Debug Serial
Wire Timebase Source:
SysTick

USART1

Mode: Asynchronous

Parameter Settings:

Basic Parameters:

Baud Rate	19200 *
Word Length	8 Bits (including Parity)
Parity	None
Stop Bits	1

Advanced Parameters:

Data Direction	Receive and Transmit
Over Sampling	16 Samples
Single Sample	Disable

Advanced Features:

Auto Baudrate	Disable
TX Pin Active Level Inversion	Disable
RX Pin Active Level Inversion	Disable
Data Inversion	Disable
TX and RX Pins Swapping	Disable
Overrun	Enable
DMA on RX Error	Enable
MSB First	Disable

*** User modified value**

System Configuration

GPIO configuration

IP	Pin	Signal	GPIO mode	GPIO pull/up pull down	Max Speed	User Label
ADC	PA4	ADC_IN4	Analog mode	No pull-up and no pull-down	n/a	VOLTAGE
I2C1	PA9	I2C1_SCL	Alternate Function Open Drain	Pull-up	High *	
	PA10	I2C1_SDA	Alternate Function Open Drain	Pull-up	High *	
SYS	PA13	SYS_SWDIO	n/a	n/a	n/a	
	PA14	SYS_SWCLK	n/a	n/a	n/a	
USART1	PA2	USART1_TX	Alternate Function Push Pull	Pull-up	High *	
	PA3	USART1_RX	Alternate Function Push Pull	Pull-up	High *	
GPIO	PF0-OSC_IN	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	
	PF1-OSC_OUT	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	
	PA0	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	LED
	PA1	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	
	PA5	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	CTRL2
	PA6	GPIO_Output	Output Push Pull	No pull-up and no pull-down	Low	CTRL1
	PA7	GPIO_Input	Input mode	No pull-up and no pull-down	n/a	SWITCH2
	PB1	GPIO_Input	Input mode	No pull-up and no pull-down	n/a	SWITCH1

DMA configuration

nothing configured in DMA service

NVIC configuration

Interrupt Table	Enable	Preenmption Priority	SubPriority
Non maskable interrupt	true	0	0
Hard fault interrupt	true	0	0
System service call via SWI instruction	true	0	0
Pendable request for system service	true	0	0
System tick timer	true	0	0
Flash global interrupt	unused		
RCC global interrupt	unused		
ADC interrupt	unused		
I2C1 global interrupt	unused		
USART1 global interrupt	unused		

* User modified value

Power Consumption Calculator report

Microcontroller Selection

Series	STM32F0
Line	STM32F0x0 Value Line
MCU	STM32F030F4Px
Datasheet	024849_Rev2

Parameter Selection

Temperature	25
Vdd	3.6

Software Project


Project Settings

Name	Value
Project Name	Inrush_test_project
Project Folder	C:\FW\TrueSTUDIO_7_1\Inrush_test\trunk\Inrush_test_project
Toolchain / IDE	TrueSTUDIO
Firmware Package Name and Version	STM32Cube FW_F0 V1.8.0

Code Generation Settings

Name	Value
STM32Cube Firmware Library Package	Add necessary library files as reference in the toolchain project configuration file
Generate peripheral initialization as a pair of '.c/.h' files	Yes
Backup previously generated files when re-generating	No
Delete previously generated files when not re-generated	Yes
Set all free pins as analog (to optimize the power consumption)	No

TLL2455N Inrush test report

	TEKNOWARE DOCUMENT REFERENCE:	
CUSTOMER:	PROJECT:	
<div data-bbox="419 891 1094 1093"><h1>INRUSH CURRENT TEST REPORT</h1></div> <div data-bbox="616 1272 895 1330"><h2>TLL2445N</h2></div>		
TESTED BY: Riku Ilomäki	CHECKED BY:	APPROVED BY:

REVISION: A	PAGES:	DATE: 04.09.2017
<div>TEKNOWARE[®] Lighting Technology</div> <div>Teknoware Oy Ilmarisentie 8, FI-15200 Lahti, Finland Tel. +358 3 883 020 Fax +358 3 883 0240 www.teknoware.eu sales@teknoware.eu</div>		

1. REVISION FOLLOW-UP

REVISION	PURPOSE	DATE
----------	---------	------

A	First version	04.09.2017
---	---------------	------------

2. INDEX

1.	REVISION FOLLOW-UP	2
2.	INDEX	4
3.	Summary of EMC Tests	5
4.	General EUT information	5
5. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	TEST 1: Visual inspection	Virhe.
6. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	TEST 2: Performance test 1	Virhe.
7.	TEST 3: Inrush current	6
8.	Test equipments	9

3. Summary of Tests

TABLE 1. Summary of EMC test results

Test no.	Name of the test	Result	Used standard
1	Visual inspection	Passed	EN50155:2007
2	Performance test 1	Passed	EN50155:2007
3	Inrush current	Passed	EN50155:2007

4. General EUT information

TABLE 2. Description of EUT

DESCRIPTION	TYPE	Nominal voltage	Input voltage (Min-Max)
LED light	TLL2445N	24VDC	16,8-32 VDC

5. TEST 3: Inrush current

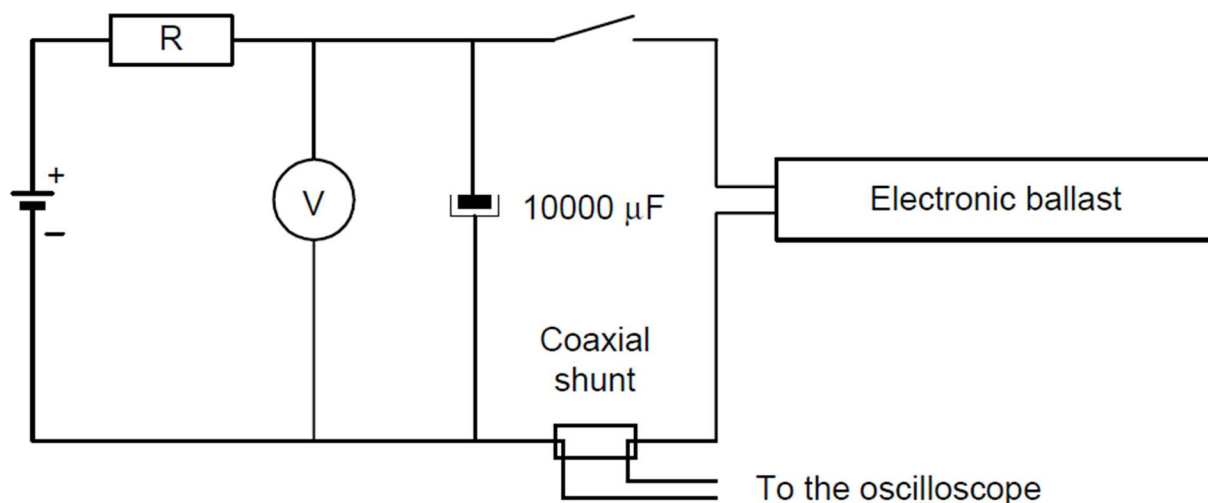
Date of testing: 04.09.2017

Input voltage: 24 VDC

Input cable length: 3,0m (1,50mm²) unshielded cable

Standard(s) applied in test: Test requirement reference to EN 50155:2007 clause 5.1.1.2
Test procedures reference to EN 50155:2007 clause 12.2.2

Test setup layout:



Test condition:

Temperature:	22,7 °C
Humidity	38,5 %RH
Air pressure	1006,8 hPa

Operation condition: Normal state of operation. During the test, DC power cables were connected to the EUT.

Test method, pass/fail criteria: Inrush current shall not be over five times normal mode current. The device will continue to operate normally.

Test observing method:

Results will be viewed from an oscilloscope

Test equipment:

Programmable power supply: California Instruments 751iX

Serial No: 1608A02258

Teknoware Oy's in-house inrush current tester

rev. 1.00

DSO-X 2024A, MY55281165: Mon Sep 04 16:00:48 2017



Actual current from measured peak voltage

$$I_{peak} = V_{meas}/0,198$$

$$I_{peak} = 0,122 \text{ V}/0,198 \Omega$$

$$I_{peak} = 0,616 \text{ A}$$

The divider comes from resistance of the shunt's inside the measuring equipment divided by the operational amplifiers gain.

Test result:**Test passed.**

Inrush current does not exceed the given limit.

No degradation of performance after the test.

The test did not cause any damage to the EUT.

The EUT was operating normally after the test. Input current was the same as before test.

[illegible]